



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

ENERGIA, ŚRODOWISKO
|
EKONOMIA

Wiesław Ciechanowicz

Warszawa 1995



**ENERGIA, ŚRODOWISKO
I
EKONOMIA**

Wiesław Ciechanowicz

Warszawa 1995

Opiniodawcy: Prof. dr hab. inż. Jan Łach
Prof. dr hab. inż. Jan Madejski
Członek rzeczywisty PAN

Wydano z wykorzystaniem dotacji
KOMITETU BADAŃ NAUKOWYCH



~~Bibl. polska~~

43297

Wykonano z oryginałów tekstowych dostarczonych przez autora

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 1995

ISBN 83-85847-06-5

Mojemu wychowawcy

Janowi Semce – bojującemu o polskość Ziemi
Sztumskiej w czasie plebiscytu, Żołnierzowi Armii Krajowej,
a następnie więźnowi politycznemu PRL.

Wstęp

Celem niniejszej monografii jest omówienie zbioru źródeł energii i zbioru technologii jej użytkowania z punktu widzenia możliwości rozwoju sektorów konsumentów i producentów energii. Kładzie się przy tym nacisk na problematykę ochrony środowiska, a także warunki ekonomiczne wprowadzenia tych technologii i źródeł energii do gospodarki narodowej.

Energia jest podstawą rozwoju społeczeństwa. Poziom jej konsumpcji w dużym stopniu świadczy o postępie w rozwoju sił wytwórczych społeczeństwa, a także o postępie technologicznym. Okres lat 1950-70 charakteryzował się szybkim wzrostem konsumpcji energii. Jeżeli podczas całego okresu rozwoju cywilizacji, ludzkość zużytkowała energię w ilości równoważnej ponad 250 mld ton węgla, to 2/3 tej ilości przypada na lata po drugiej wojnie światowej. W 1985 roku łączne zużycie paliw kopalnych, a więc: węgla, ropy i gazu, stanowiło - w przeliczeniu na węgiel - około 11 miliardów ton. Przewiduje się, że zapotrzebowanie na energię może osiągnąć w przeliczeniu na węgiel: 13-15 mld ton w 2000 roku i 40-80 mld ton rocznie przy końcu XXI wieku. W sprostaniu przewidywanemu wzrostowi zapotrzebowania na energię w okresie następnych 30-50 lat znaczny udział będą zapewne miały paliwa kopalne. Znaczący udział może mieć także energia jądrowa, ale pod warunkiem, że będzie akceptowana przez społeczeństwo. Można oczekiwać, że będzie również wzrastał udział takich źródeł odnawialnych, jak energia: słoneczna, biomasy i wiatru.

Obok problemu energii powstaje i narasta problem środowiska naturalnego. W szerokim sensie jest on rozumiany jako związane z użytkowaniem energii, bezpośrednio lokalne oddziaływanie na zdrowie ludzkie, a to poprzez wpływ kwaśnych deszczów, oraz wpływ na biosferę i zmianę klimatu planety w wyniku narastania efektu cieplarnianego, powodowanego emisją dwutlenku węgla do atmosfery.

Z każdym rokiem stają się coraz bardziej zauważalne zagrożenia destrukcji bilansów ekologicznych tak w sensie globalnym jak i lokalnym. Przyczyna takiej sytuacji tkwi we wzrastającym zużyciu energii i strukturze zużycia jej nośników. Powstaje więc pytanie: **Co należy zrobić dziś, ażeby zachować naturę w przyszłości?** Rozwiązania problemu należy poszukiwać między innymi poprzez opracowywanie odpowiednich technologii użytkowania energii i wykorzystywania jej odnawialnych źródeł. Wymagać to jednak będzie niemałych nakładów finansowych. Powstaje więc obok problemu energii i środowiska problem ekonomii. Te trzy wzajemnie powiązane problemy mogą być rozwiązywane z punktu widzenia rozwoju gospodarki narodowej za pomocą badań systemowych, na podstawie których będzie możliwe:

1. *oszacowanie konsekwencji rozwoju sektorów konsumentów i producentów energii dla określonych scenariuszy rozwoju tych sektorów,*
2. *zweryfikowanie czy gospodarka narodowa będzie w stanie ponieść wyżej wymienione konsekwencje przy założonym scenariuszu rozwoju gospodarki,*
a następnie
3. *w wyniku oceny regionalnego rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego zasugerowanie regionalnej lokalizacji technologii redukcji zanieczyszczeń.*

Wśród szeregu decydentów i pewnej części społeczeństwa panuje konserwatywne przekonanie, iż w warunkach krajowych najkorzystniejsze są dotychczasowe technologie wykorzystywania paliw kopalnych, które są ponadto łatwo akceptowalne. Natomiast kwestia

wykorzystywania energii słonecznej, wiatru czy biomasy jest wciąż traktowana marginesowo, co po części wynika z braku odpowiednich informacji. Jednym z celów niniejszej monografii jest próba przynajmniej częściowego naświetlenia tej tak ważnej problematyki. Rozważane są bowiem zagadnienia: energii, środowiska i ekonomii, które coraz większego znaczenia nabierają w znajdywaniu odpowiedzi na następujące pytanie:

Jakiego rodzaju decyzje winny być podjęte dziś, ażeby zapewnić w przyszłości odpowiednie warunki rozwoju gospodarki narodowej?

Chciałbym wyrazić wdzięczność Panom: Profesorowi Janowi Madejskiemu i Profesorowi Janowi Łachowi – recenzentom niniejszej monografii – za szczegółowe i wnikliwe uwagi.

Dziękuję również moim kolegom z Instytutu Badań Systemowych PAN: dr. Piotrowi Holnickiemu, dr. Leonowi Stomińskiemu i mgr. Zygmuntowi Uhrynowskiemu oraz Panu mgr. Wiktorowi Lisowiczowi za pomoc w redagowaniu pracy.

Wiesław Ciechanowicz

Rozdział 1

Zasoby energii

W rozdziale wprowadza się podstawowe pojęcia, wykorzystywane w niniejszej monografii, związane z użytkowaniem energii. Omawia się wielkość jej zużycia oraz strukturę użytkowania. Szacuje się przyszłe światowe zapotrzebowanie na energię. Ocenia się możliwości wykorzystywania nieodnawialnych i odnawialnych źródeł energii. Rozdział kończą rozważania dotyczące perspektyw rozwoju światowego rynku paliw i energii.

1.1 Źródła energii, nośniki energii, energia pierwotna

Rozróżnia się źródła energii ciągle odnawialne i źródła nagromadzone nieodnawialne (rys. 1.1). Do źródeł odnawialnych zalicza się:

- energię słoneczną, wykorzystywaną bezpośrednio lub pośrednio poprzez fotosyntezę, energię kinetyczną wiatrów i energię wnętrza oceanów,
- energię fal morskich, przyptyków morskich i energię skorupy ziemskiej.

Źródła nieodnawialne to te, które nie są w ogóle uzupełniane lub uzupełniają się znacznie wolniej niż są użytkowane. Wielkość zasobów energii nieodnawialnych determinują zasoby odpowiednich substancji lub pierwiastków. Określa się je mianem paliw. Rozróżnia się:

- paliwa kopalne, jak węgiel, ropa i gaz ziemny,
- paliwa jądrowe, takie jak uran, tor, deuter, lit i bor.

Paliwa kopalne i jądrowe gromadzą możliwości uzyskiwania energii. Z tego względu określa się je mianem nośników energii. Paliwa naturalne są pierwotnymi nośnikami energii, a energię odpowiadającą wartości kalorycznej tych nośników nazywa się energią pierwotną.

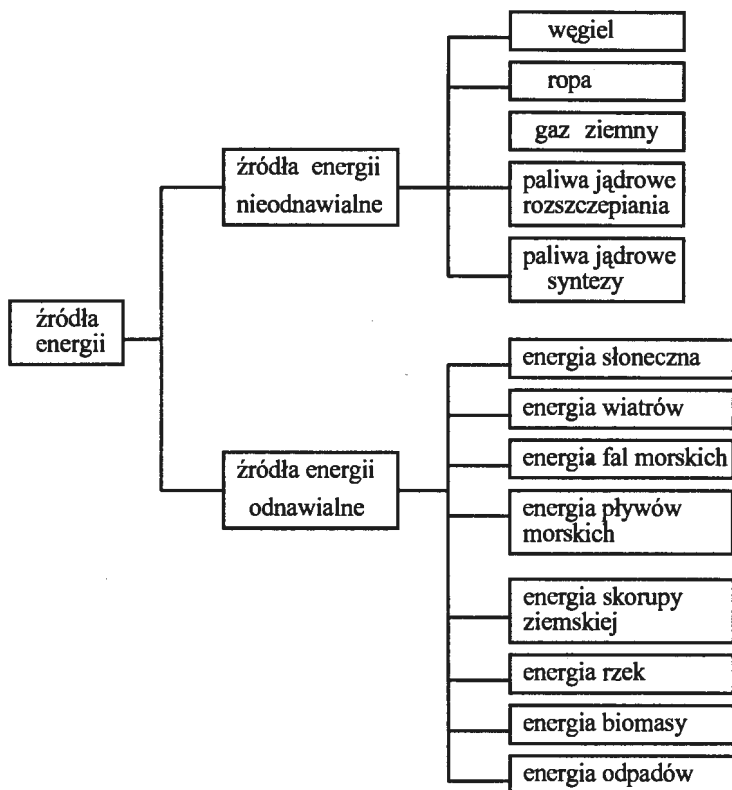
Rozróżnia się również wtórne nośniki energii. Są to nośniki powstałe w wyniku przetwarzania nośników pierwotnych w bardziej dogodną postać z punktu widzenia użytkowania. Przykładem mogą być produkty zgazowywania węgla, takie jak: metan, gaz syntezowy lub wodór, względnie energia elektryczna.

1.2 Energia pierwotna - historia i perspektywy

W pierwszym okresie ludzkości człowiek użytkował jedynie energię w postaci żywności. Zapotrzebowanie na nią wynosiło około 3 GJ/rok. (1 tona węgla = 5980 kcal = 25 GJ). W drugiej połowie XIX wieku rozpoczął się okres uprzemysławiania i zużycie energii w skali świata osiągnęło średnio liczbę 38 GJ/rok na jednego mieszkańca. W 1970 i 1985 wzrosło odpowiednio do 63 i 69.4 GJ/rok. W USA osiągnęło wartość 315 GJ/rok. Przewiduje się dalszy wzrost zużycia energii ponieważ:

- następuje ciągły wzrost liczby ludności, która obecnie przekracza 5 miliardów, przy czym stosowną prognozę obrazuje rys.1.2[1.1],
- istnieje naturalne dążenie do wzrostu stopy życiowej, szczególnie w krajach rozwijających się, co będzie przyczyniać się do zwiększenia zapotrzebowania na energię,

- produkcja żywności i innych artykułów codziennego użytku staje się coraz bardziej energochłonna,
- pozyskiwanie trudniej dostępnych surowców staje się bardziej energochłonne,
- narastająca konieczność ochrony środowiska spowoduje dodatkowe zużycie energii.

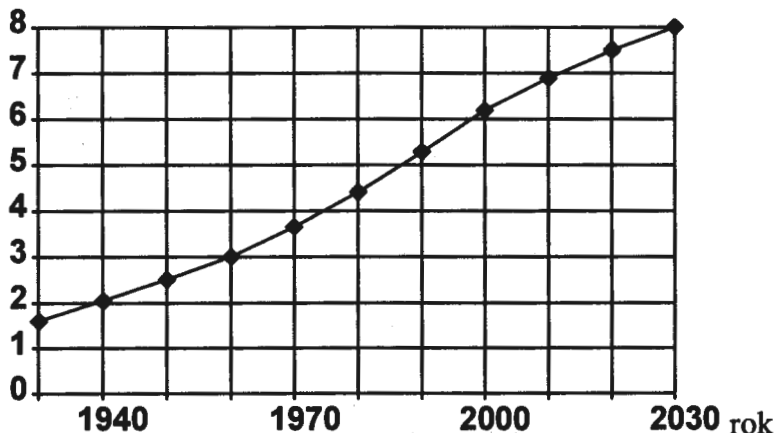


Rys.1.1 Rodzaje źródeł energii

W 1970 roku ludność świata liczyła niecałe 4 mld mieszkańców i zużywała 252 mld GJ/rok energii. Jeżeli w 2030 roku zużycie energii pierwotnej na mieszkańca w skali świata wyniosłoby 95 GJ/rok, to - przy założeniu wzrostu ludności świata do 8 mld mieszkańców - zapotrzebowanie na energię pierwotną osiągnęłoby wartość 630 mld GJ/rok, co jest równoważne 25 mld ton węgla rocznie. Rys. 1.3 przedstawia prognozę w skali świata zapotrzebowania na energię pierwotną do 2020 roku [1.2].

Przez długi okres czasu źródłem energii było drewno. W końcu XIX wieku nastąpił rozwój maszyny parowej. W strukturze użytkowania energii zaczął dominować węgiel. W latach 20-tych XX wieku głównym nośnikiem energii staje się ropa i gaz ziemny (węglowodory). W 1960 i 1980 stanowiły one odpowiednio: 48% i 63% ogólnie użytkowanej energii pierwotnej w skali świata. W połowie lat 60-tych w strukturze użytkowania nośników energii pojawia się paliwo jądrowe. Rys. 1.4 przedstawia prognozę struktury użytkowania nośników energii do 2020 roku sporządzoną w Międzynarodowym Instytucie Stosowanych Badań Systemowych [1.3]. Rys. 1.5 reprezentuje prognozę struktury użytkowanych nośników i źródeł energii do 2100 roku wykonaną w RFN przez Deutsche

mld mieszkańców



Rys.1.2. Prognoza liczby ludności świata (w miliardach mieszkańców).

Forschungs und Versuchsanstalt für Luft und Raumfahrt i Institut für Technische Thermodynamik, Stuttgart [1.61]. Zaznaczony na rysunku skrót "wodór słoneczny" należy rozumieć jako wodór wytwarzany przy wykorzystywaniu energii słonecznej. Przy ocenie prognozy wykorzystywania energii jądrowej założono, że reaktory powielające, których paliwem jest pluton, nie uzyskają akceptacji społecznej.

W pracy [1.62] podano, między innymi, prognozy zapotrzebowania na energię pierwotną w Polsce do 2010 roku. W zależności od rozważanych wariantów rozwoju kraju zapotrzebowanie to ma zawierać się w granicach 5241 - 4150 PJ ($1 \text{ PJ} = 10^{15} \text{ J}$), co jest równoważne 209 - 166 mln ton węgla o wartości opałowej 25 GJ/t. Dla porównania w 1990 roku zapotrzebowanie to wynosiło 167 mln ton [1.62].

Pierwotne nośniki energii wykorzystuje się w gospodarce narodowej do wytwarzania ciepła, pary przemysłowej i wody gorącej, energii elektrycznej lub jako surowce w przemyśle petrochemicznym i chemicznym. Najbardziej energochłonnymi użytkownikami energii pierwotnej są: przemysł, transport, gospodarka komunalno-bytowa i energetyka zawodowa. Udział przemysłu w konsumpcji energii pierwotnej jest największy w Japonii i wynosi 47%. We Francji, Włoszech, Norwegii i Szwecji stanowi około 40%, a w Danii wynosi tylko 16%. W transporcie zużycie energii pierwotnej waha się w krajach rozwiniętych w granicach 15 - 25 % ogólnego krajowego zużycia. Zapotrzebowanie na energię pierwotną w gospodarce komunalno-bytowej krajów wysoko rozwiniętych zawiera się w granicach 16 - 30 % (USA 16%, Dania 28%). Udział mieszkańców wsi w tym sektorze jest niewielki i w Europie Zachodniej wynosi średnio 2 % ogólnego zużycia. Udział ropy i gazu ziemnego jest dominujący w przemyśle i gospodarce komunalno-bytowej. Ropa dominuje także w sektorze transportu.

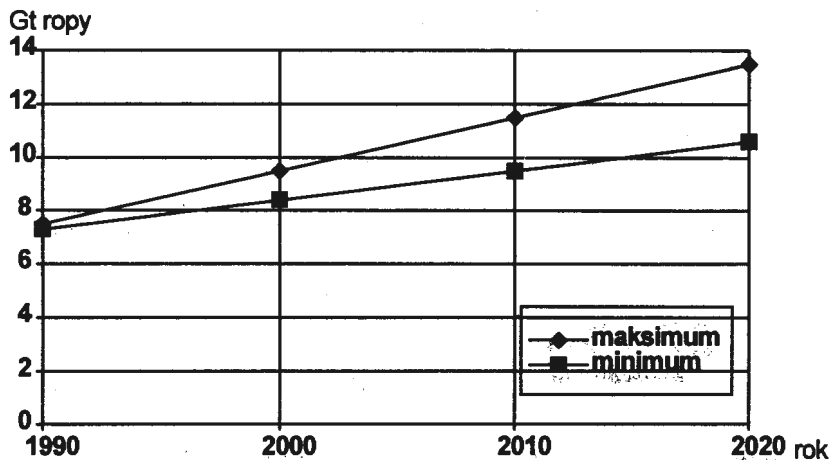
1.3 Zasoby energii źródeł nieodnawialnych

1.3.1 Uwagi wstępne

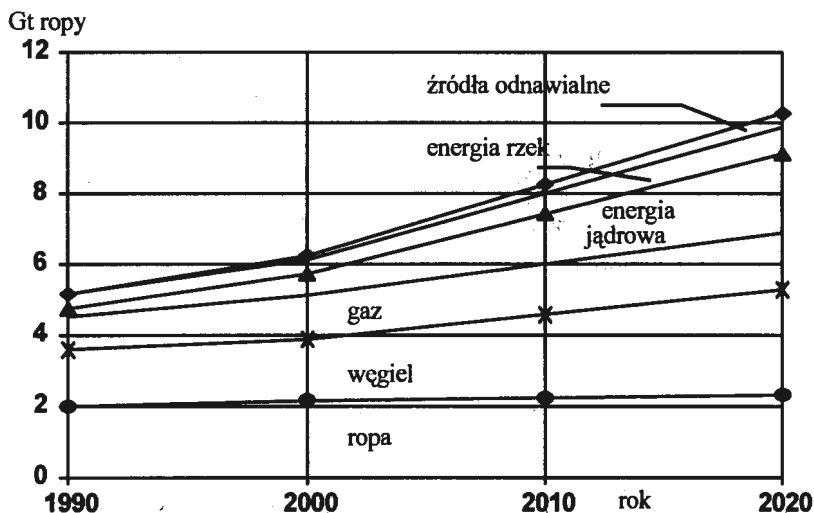
Nieodnawialne źródła energii mogą, przy wykorzystywaniu istniejących technologii, spełniać warunki:

- ciągłej dostawy energii,
- wielkości dostarczanej mocy, wymaganej przez użytkownika.

Jako źródła nieodnawialne omawia się paliwa kopalne i paliwa jądrowe. Podaje się oceny wielkości tych zasobów w skali świata i dla większości przypadków w skali kraju.



Rys.1.3. Prognoza zapotrzebowania na energię w skali świata do 2020 roku wyrażona w Gt ropy.



Rys.1.4 Prognoza struktury użytkowania nośników energii i źródeł energii w skali świata wyrażona w Gt ropy, sporządzona przez Międzynarodowy Instytut Stosowanych Badań Systemowych.

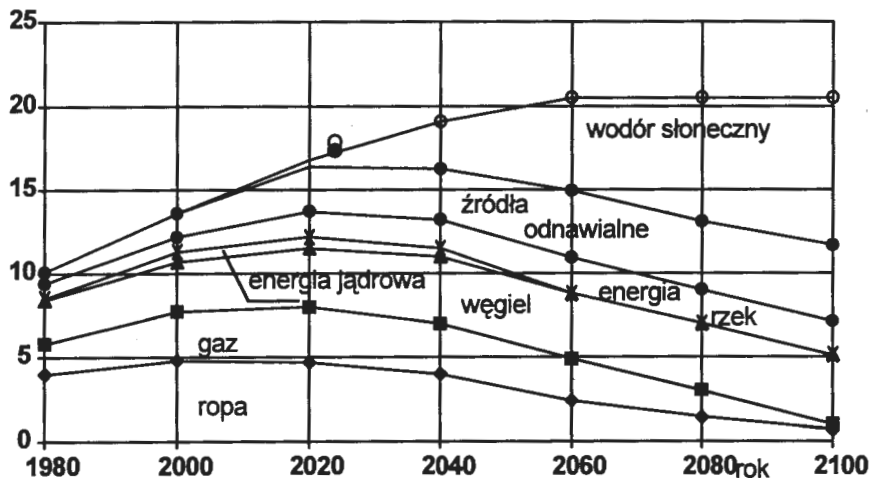
1.3.2 Węgiel

Prawdopodobne światowe zasoby węgla ocenia się na około $410000 \cdot 10^9$ GJ, co stanowi $16400 \cdot 10^9$ ton przy założeniu, że wartość kaloryczna 1 tony węgla wynosi 25 GJ [1.4]. Zidentyfikowane zasoby węgla wynoszą $600 \cdot 10^9$ ton. Oznacza to, że węgiel mógłby służyć światu jako podstawowe paliwo od kilkudziesięciu do paru setek lat.

W Polsce zasoby węgla kamiennego szacuje się na około $100 \cdot 10^9$ ton. Łączne zasoby geologiczne węgla brunatnego wynoszą około $30 \cdot 10^9$ ton, w tym zasoby udokumentowane

ponad $16 \cdot 10^9$ ton. W 1990 r. wydobyto $147,7 \cdot 10^6$ ton węgla kamiennego i $67,6 \cdot 10^6$ ton węgla brunatnego. W ówczesnych planach państwowych dla roku 1977 zakładano wydobyć w 1990 r. $243 \cdot 10^6$ ton węgla kamiennego i $130 \cdot 10^6$ ton węgla brunatnego [1.5]. Według danych z 1970 r. przedstawionych na sympozjum "Podstawowe Problemy Energetyki", organizowanego przez Komitet Energetyki PAN [1.6], w 2000 r. prognozowano wydobyć w $310 \cdot 10^6$ ton węgla kamiennego.

Gt węgla



Rys.1.5 Prognoza struktury użytkowania nośników energii i źródeł energii w skali świata wyrażona w Gt węgla według Deutsche Forschungs und Versuchsanstalt für Luft und Raumfahrt i Institut für Technische Thermodynamik, Stuttgart.

1.3.3 Ropa

Obecnie ropa zaspakaja około połowę zapotrzebowania światowego na pierwotne nośniki energii. Zidentyfikowane zasoby ropy wynoszą 3672 mld GJ względnie 82,4 mld ton [1.4]. Istnieje szereg ocen dotyczących zasobów dotychczas wydobytych, zidentyfikowanych i prawdopodobnych. Ocenia się, że suma tych zasobów wynosi 12000 mld GJ (275 mld t). Stanowi to 80 % zidentyfikowanych złóż węgla. Gdyby te liczby okazały się prawdziwe, oznaczałoby to, że odkryto około 50 % zasobów prawdopodobnych, a zużyto 1/6 tych zasobów. Zasobów ropy zidentyfikowanych i prawdopodobnych pozostaje więc około 10404 mld GJ (245 mld t). W Polsce istnieją złoża ropy naftowej o małym znaczeniu w Zagłębiu Krośnieńsko-Jasielskim i o znaczeniu gospodarczym w rejonie Bochni, Kazimierzy Wielkiej, Dąbrowy Tarnowskiej, Mielca, na pobrzeżu bałtyckim, Ziemi Lubuskiej i szelfach przybrzeżnych. W 1992 roku wydobyto w Polsce $0,199 \cdot 10^6$ ton, a importowano $12,77 \cdot 10^6$ ton. Dotychczasowy roczny wzrost zużycia ropy w skali świata wyniósł 6,5 %. Prognozując, że do końca obecnego stulecia wzrost ten będzie wyniósł tylko 3 %, produkcja ropy podwoiłaby się w stosunku do 1976 roku. Sumaryczna produkcja do 2000 roku wyniosłaby 4590 mld GJ (103 mld t). Oznacza to, że znaczna część ropy musiałaby pochodzić z zasobów prawdopodobnych, ponieważ wyczerpałyby się zasoby zidentyfikowane. Prognozowanie tego samego tempa wzrostu produkcji ropy na dalsze 24 lata staje się nierealizowalne, ponieważ produkcja musiałaby wynosić 9180 mld GJ (206 mld t). Suma produkcji w dwóch rozważanych okresach przekroczyłaby w tym przypadku wielkość zasobów prawdopodobnych. Przyjmując, że oceny złóż prawdopodobnych nie zawierają bardzo dużych błędów, końcem ery ropy może być zatem początek XXI wieku.

1.3.4 Gaz ziemny

Dotychczas wydobyto 1130 mld GJ gazu (29000 km^3) [1.1]. Zasoby zidentyfikowane wynoszą 2599 mld GJ (65000 km^3). Suma zasobów wydobytych, zidentyfikowanych i prawdopodobnych ma zawierać się w przedziale 6780 mld do 13560 mld GJ. Prognozując, tak jak w przypadku ropy, 3 % roczny wzrost zużycia gazu, produkcja do 2000 roku musiałaby wynosić około 1836 mld GJ (46000 km^3). Łączne zapotrzebowanie na gaz do 2024 roku osiągnęłoby 5508 mld GJ (140000 km^3). Większość tej produkcji musiałaby pochodzić z zasobów prawdopodobnych.

Złoża gazu ziemnego w Polsce są szacowane na ponad $180 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. W 1992 r. wydobyto zaś $1,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, a importowano $6,615 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

1.3.5 Paliwa jądrowe energii rozszczepienia

Paliwa jądrowe energii rozszczepiania występują w naturze głównie w postaci uranu 238 i toru 233. Uran 235 stanowi 0,7% złóż naturalnych uranu. U-235 jest paliwem obecnie stosowanym w reaktorach termicznych w postaci wzbogaconej do kilku procent, w sensie zwiększenia stężenia U-235 w paliwie. W procesie wzbogacania paliwa traci się w odpadach 0,2% U-235. Oznacza to, że na każde 200 kg wydobytej rudy uranowej U_3O_8 wykorzystuje się jedynie 1 kg uranu U-235. Uran występuje stosunkowo obficie w skorupie ziemskiej i wodzie morskiej. Jego średnia zawartość w wodzie morskiej wynosi 4 g na tonę wody. Depozyty uranu o zawartości powyżej 0,5 do 1% należą raczej do rzadkości. Występuje on w postaci związków.

Złożem toru jest toryt, oranzyt i piaski monacytowe. Toryt i oranzyt zawierają 50-70% ThO_2 . Znane ich złoża są małe. Największe złoża toru to piaski monacytowe, które zawierają od 5 do 10% toru. Chociaż zasoby toru nie są ostatecznie oszacowane, to uważa się, że przekraczają trzy względnie czterokrotnie zasoby uranu.

Złoża uranu klasyfikuje się ze względu na koszty wydobycia rudy uranowej. Zasoby pewne najtańszej rudy uranowej wynoszą $1,02 \cdot 10^6$ ton, a prawdopodobne $1,08 \cdot 10^6$ ton [1.7]. Oceniane zasoby uranu i toru w oceanach i skorupie ziemskiej na głębokości do 1 mili wynoszą $10 \cdot 10^6$ ton. Gdyby całość złóż uranu i toru, zalegających do głębokości 1 mili wypalić całkowicie w odpowiednich reaktorach jądrowych, to uzyskało by się $10^{12} \cdot 10^9$ GJ. Energia ta wystarczałaby ludzkości na parę tysięcy lat. Przy założeniu wypalania złóż o najtańszym koszcie wydobycia uzyskałoby się $10000 \cdot 10^9$ GJ.

W 1977 r. prognozowano w planach rozwoju gospodarki narodowej kraju uzyskanie przynajmniej 12 TWh energii elektrycznej z elektrowni jądrowych. Wymagałoby to uruchomienia elektrowni jądrowej o mocy 1600 MW, przy założeniu, że współczynnik wykorzystania mocy wyniósłby 0,85 [1.5]. W prognozach przedstawionych podczas sympozjum "Podstawowe Problemy Energetyki" w 1970 roku podano dwa warianty budowy elektrowni jądrowych w Polsce, w myśl których w 2000 roku moc zainstalowana winna być zawarta w granicach 22000 MW - 70000 MW [1.6]. Obecnie moc systemu energetycznego kraju jest około 24000 MW.

1.3.6 Paliwa jądrowe energii syntezy

Do paliw jądrowych energii syntezy należą deuter i lit, z których otrzymuje się tryt w wyniku odpowiedniej reakcji jądrowej. Zasoby deuteru i litu są odpowiednio 10000 i 10 razy większe aniżeli zasoby węgla [1.9]. Paliwami energii syntezy mogą okazać się także hel i bor, które uczestniczą w procesie syntezy odpowiednio typu deuter - hel ($\text{D}-^3\text{He}$) i proton - bor ($\text{p}-^{11}\text{B}$). Hel występuje w bardzo małej ilości w powietrzu i niektórych gazach ziemnych. Bor występuje zaś w postaci minerałów, głównie boraksu, kernitu i boracytu.

1.4 Zasoby energii źródeł odnawialnych

1.4.1 Uwagi wstępne

Odnawialne źródła energii dotychczas nie wykorzystywane, a mogące znaleźć zastosowanie po opanowaniu technologicznym, winny zapewniać:

- ciągłość dostawy energii,
- wielkość dostarczanej mocy wymaganej przez użytkownika,
- konkurencyjność w stosunku do źródeł nieodnawialnych w zakresie określonych wymagań stawianych przez użytkownika.

Do odnawialnych źródeł energii zalicza się: energię słoneczną wykorzystywaną bezpośrednio, energię kinetyczną wiatrów, energię wnętrza oceanów, fal morskich, pływów morskich, gorące źródła energii wnętrza skorupy ziemskiej, energię rzek, energię pozostałości produkcji rolniczej, odpadów komunalnych, pozostałości leśnych i energię biomasy.

Odnawialne źródła energii można podzielić na dostępne lokalnie w poszczególnych krajach lub regionach i ogólnie dostępne. Do pierwszej grupy można zaliczyć: energię kinetyczną wiatrów, energię wnętrza oceanów, energię kinetyczną fal morskich, pływów morskich, gorące źródła energii wnętrza skorupy ziemskiej i energię rzek, a do drugiej grupy energię słoneczną.

W podrozdziale podaje się pochodzenie źródeł i prawdopodobną wielkość ich zasobów w skali świata. W niektórych przypadkach dokonuje się przybliżonych ocen osiągalności tych zasobów w warunkach wybranych krajów i w warunkach polskich. Omawia się możliwe sposoby magazynowania energii dla źródeł odnawialnych, które umożliwiłyby ciągłość dostawy energii. Charakteryzuje się strukturę wytwarzanych nośników energii.

1.4.2 Energia słoneczna

Ilość energii słonecznej przekazywanej na zasadzie promieniowania do zewnętrznej granicy atmosfery w ciągu jednej sekundy wynosi 1.73×10^{11} MW. Stanowi to 30000 razy więcej, aniżeli światowe zużycie energii pierwotnej, przy założeniu ciągłej dostawy w roku 1970. 30% tej mocy jest odbijane od globu ziemskiego, głównie jako promieniowanie widzialne i ultrafioletowe. 47% jest zaś pochłaniane w atmosferze i reemitowane na zewnątrz, przeważnie jako promieniowanie podczerwone. Pozostałe 23% uczestniczy w zjawisku odparowywania. Źródłem energii słońca jest reakcja syntezy czterech jąder wodoru, która prowadzi do powstawania jąder helu i dwóch pozytronów:



Reakcja ta nie może mieć zastosowania na globie ziemskim. Duże ilości wytwarzanej na słońcu energii są wynikiem wielkiej masy materiałów uczestniczących w reakcji syntezy, a nie dużej szybkości reakcji jądrowych na jednostkę objętości. Energię słoneczną można wykorzystywać bezpośrednio stosując odpowiednie kolektory lub ogniwa fotowoltaiczne.

Osiągalność energii słonecznej dla danego regionu, użytkowanej w postaci ciepła, zależy od następujących czynników:

1. natężenia promieniowania, w GJ/rok, właściwego dla położenia geograficznego danego regionu,
2. nasłonecznienia, które determinuje współczynnik osiągalności jego w ciągu roku,
3. sprawności urządzenia przetwarzającego.

Poniżej, w tablicy 1.1 podaje się natężenie promieniowania słonecznego i współczynnik wykorzystania jego w ciągu roku dla wybranych regionów [1.10, 1.11].

Dla oceny potencjalnych możliwości wykorzystywania energii słonecznej dokonuje się szeregu obserwacji meteorologicznych. Następnie uzyskane informacje są odpowiednio przetwarzane przy zastosowaniu programów komputerowych. Przykłady stosowanych w tym zakresie metod są zawarte w publikacjach [1.12-1.23].

Potencjalne możliwości wykorzystania energii słonecznej w warunkach krajowych, w tym charakterystyka promieniowania słonecznego i zasoby helioenergetyczne Polski, podano w ekspertyzie Komitetu Termodynamiki i Spalania Wydziału IV-tego Nauk Technicznych Polskiej Akademii Nauk, opracowanej przez zespół naukowców pod redakcją profesora W. Gogóła [1.63]. Według tego opracowania w rozkładzie przestrzennym Polski najkorzystniejsze warunki wykorzystania energii promieniowania słonecznego obserwuje się na wybrzeżu i we wschodniej części Polski.

Tablica 1.1 Natężenie promieniowania i współczynnik wykorzystania jego w ciągu roku dla wybranych regionów.

region	natężenie promieniowania GJ/r	współczynnik wykorzystania
południe Stanów Zjednoczonych	10.0	0.31
południe Włoch i Hiszpanii	6.6	0.25
Hiszpania	5.0	0.21
Szwajcaria	5.0	0.16
Norwegia	4.0	0.12

1.4.3 Energia kinetyczna wiatrów

Nierównomierne ogrzewanie ziemi przez słońce przyczynia się do powstawania cyrkulacji lub ruchów atmosferycznych na dużą skalę. Stanowią one źródło energii kinetycznej wiatrów. Cyrkulacje atmosferyczne dzieli się umownie na trzy kategorie z punktu widzenia skali zjawisk, a mianowicie:

- podstawowe cyrkulacje planetarne powodowane obrotem ziemi,
- cyrkulacje poziome, mające istotny wpływ na pogodę świata,
- lokalne cyrkulacje poziome lub pionowe kształtujące lokalną pogodę.

Około 2% promieniowania słonecznego osiągającego powierzchnię ziemi ulega w sposób ciągły przemianie w energię wiatrów [1.24]. W skali kuli ziemskiej wielkość mocy użytkowej wiatrów jest rzędu 10^6 MW [1.25].

Dla oceny potencjalnej energii wiatrów wymagane są rutynowe synoptyczne pomiary wiatrów, zachmurzenia i temperatury przez przynajmniej pięć lat, dokonywane na kilku stacjach pomiarowych w danym regionie klimatycznym, uwzględniające nierówności terenu. W wyniku uzyskuje się rozkłady prędkości i kierunków wiatrów dla określonych wysokości, szczególnie, gdy zamierza się wykorzystywać w warstwach do wysokości 200 metrów duże silniki wiatrowe.

Istnieją możliwości lokalizacji silników wiatrowych na sztucznych wyspach zwanych "farmami silników wiatrowych" w pobliżu brzegów morskich. Korzyści są oczywiste. Prędkość wiatrów na wybrzeżu jest na ogół dwukrotnie większa, aniżeli na lądzie. Ponieważ moc silników wiatrowych jest proporcjonalna do trzeciej potęgi prędkości wiatru, to silnik wiatrowy umieszczony na morzu może produkować 8-krotnie więcej energii w porównaniu z silnikami wiatrowymi zlokalizowanymi na lądzie.

Potencjalne zasoby energii wiatrów w krajach Wspólnoty Europejskiej oceniono na około 470 mln GJ/r, pod warunkiem, że będą stosowane silniki wiatrowe o średnicy rotora 100 m [1.26]. W Szwecji do 1987 roku zainstalowano na lądzie i na morzu w pobliżu brzegów silników wiatrowych o łącznej mocy 50 MW [1.27]. W Republice Federalnej Niemiec planuje się do 2000 roku pokrywać ponad 1,3% zapotrzebowania na energię

elektryczna przy wykorzystywaniu energii wiatrów. W Holandii energia wiatrów jest postrzegana jako najważniejsze źródło spośród odnawialnych źródeł energii. Program rządowy przewiduje tam zainstalowanie do końca stulecia silników wiatrowych o łącznej mocy 1000 MW [1.27]. Studia przeprowadzone w Wielkiej Brytanii na podstawie pomiarów i oceny kosztów sugerują możliwość udziału energii wiatrów w 10 procentach w zapotrzebowaniu na energię elektryczną [1.28]. Według Davida Lindly udział ten może osiągnąć w Wielkiej Brytanii nawet 20% [1.28]. Planowano zainstalowanie w Danii do 1990 roku silników wiatrowych o łącznej mocy 150 MW [1.29]. Potencjalne zasoby energii wiatrów w Norwegii oceniono na 126 mln GJ/r, przy czym uważa się, że będzie możliwe do uzyskania ze względów technologicznych 36-54 mln GJ/r [1.30]. Z mapy rozkładu wiatru w Polsce wynika, że najkorzystniejsze warunki dla budowy elektrowni wiatrowych występują w strefie północnej oraz w środkowej i południowo-wschodniej części kraju [1.64].

Wahania pogody nie zezwalają na planowanie znacznego udziału silników wiatrowych w wytwarzaniu energii elektrycznej. Chociaż istniałyby możliwości instalowania wymaganej mocy silników wiatrowych, to jednak nie mogą one stanowić źródła, które całkowicie likwidowałoby deficyt energii elektrycznej. Mogą natomiast likwidować go częściowo i osłabić deficyt energii pierwotnej w skali kraju, ale pod warunkiem magazynowania energii w postaci energii elektrycznej lub innego nośnika energii.

1.4.4 Energia wnętrza oceanów

Morza i oceany pokrywają 71% powierzchni kuli ziemskiej. Średnia głębokość mórz wynosi 4 km. Tak duża objętość wody, szczególnie w strefach podzwrotnikowych stanowi potężny kolektor energii słonecznej. Niestety użyteczność tej energii jest mała.

Warunkiem wykorzystania energii mórz jest istnienie dwóch prądów wodnych: gorącego i zimnego. Wynika to z drugiej zasady termodynamiki, którą podaje się w rozdziale 3-cim. Takie dwa prądy występują w prądach podzwrotnikowych Gulf Stream, Kuroshio i prądach równikowych. Sięgają one do głębokości 1000 metrów. Temperatura na powierzchni wynosi około 26°C, natomiast na głębokości 1000 metrów waha się w granicach 2.5 - 5 °C. Wody z regionów podbiegunowych płyną dnem oceanów do strefy podzwrotnikowej. Tam po ogrzaniu unoszą się do górnych warstw i powracają do regionów bieguna. Zjawisko to przyczynia się do powstawania wspomnianych dwóch prądów wodnych.

Wykorzystanie energii wnętrza oceanów warunkują względy technologiczne. Skalę wykorzystania wyznaczają czynniki ekonomiczne, które obecnie są niekorzystne dla omawianego źródła energii.

1.4.5 Energia fal morskich

Na powierzchni oceanów następuje zamiana energii kinetycznej wiatrów w energię kinetyczną fal morskich. Całkowitą moc fal morskich oceanów oceniono na 2.5 mln MW.

Przydatność energii kinetycznej fal morskich może okazać się istotna dla krajów "morskich" ale pod warunkiem pokonania wielu trudności technicznych i konkurencji ekonomicznej ze strony innych źródeł energii.

1.4.6 Energia pływów morskich

Pływy morskie (przyływy i odpływy) oferują odnawialne, naturalne źródło energii, dotychczas nie wykorzystywane. Pływy powodują siły pływowe. Są to siły działające na cząstki globu ziemskiego, niezależnie od grawitacji wzajemnej tych cząstek. Źródłem ich są siły przyciągania innych ciał niebieskich, z których na pierwszy plan wybija się słońce z powodu swej olbrzymiej masy i księżyc z powodu bliskości. Skutek działalności tych sił nie byłby dostrzegalny na ziemi, gdyby cała ziemia była ciałem sztywnym, nie pokrytym w

znacznej części wodą oceanów. Siły te wywołują przede wszystkim fluktuacje zwierciadła tych wód, znane od wieków pod nazwą przyływów i odpływów. Stąd nazwa sił pływowych.

Moc rozwijana przez pływy oceanów jest rzędu 1,57 mil MW. Oceny tej dokonano mając na uwadze, że pływy zmniejszają prędkość kątową ziemi o 1 sekundę [1.31].

Potencjalne zasoby energii pływów są ograniczone, ponieważ wymagają odpowiednio ukształtowanych terenów w postaci zatok.

1.4.7 Energia wnętrza skorupy ziemskiej

Przyпуска się, że źródłem energii wewnętrznej skorupy ziemskiej jest bardzo powolny rozpad radioaktywny uranu, toru i potasu. Pierwiastki te występują w granicie i bazalcie, a więc w podstawowych składnikach skorupy ziemskiej. Rozpadowi radioaktywnemu izotopów towarzyszy wydzielanie ciepła.

Kula ziemską stanowi niejako kulisty element paliwowy z rozmieszczonymi wewnątrz źródłami ciepła. Wymiana ciepła odbywa się na zasadzie przewodzenia. Najwyższa temperatura winna więc występować w środku kuli. W miarę posuwania się do ścianki zewnętrznej - powierzchni ziemi, gradient temperatury winien maleć. Potwierdzają to pomiary temperatury w otworach wiertniczych i kopalnianych.

Obok przewodzenia ciepła, w niektórych regionach skorupy ziemskiej wymiana ciepła następuje na zasadzie konwekcji. Stanowi ona taki rodzaj wymiany ciepła, w którym ruch płynu (gorącej wody) lub pary wywoływany jest siłami masowymi (np. siłami grawitacji). W otoczeniu ciała wymieniającego ciepło występują różnice temperatur, powodujące różnicę gęstości otaczającego płynu, która jest przyczyną powstawania siły wyporu.

Ciepło wymieniane w skorupie ziemskiej na zasadzie przewodzenia jest teoretycznie dostępne w każdym punkcie powierzchni ziemi. Tego typu zasoby energii określa się mianem suchych źródeł geotermicznych. Wykorzystywanie ich wymaga wiercenia studni na głębokość kilku kilometrów dla uzyskania odpowiedniej różnicy temperatur i formowania na tej głębokości odpowiednich powierzchni wymiany ciepła.

Ciepło unoszone z wnętrza skorupy ziemskiej na zasadzie konwekcji objawia się w postaci naturalnych źródeł gorącej wody, pary nasyconej lub przegrzanej. Nazywa się je gorącymi źródłami geotermicznymi. Występują one tylko w nielicznych miejscach następujących krajów: Salwadoru, Islandii, Japonii, Meksyku, Nowej Zelandii, USA, Włoch i Rosji.

Całkowita masa ziemi stanowi $5,583 \times 10^{27}$ kg. Jeśli założyć, że średnie ciepło właściwe jest równe $0,2 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, to pojemność cieplna kuli ziemskiej wynosi $4,98 \times 10^{27} \text{ J/}^\circ\text{C}$. Jest to 1000 razy więcej, niż pojemność cieplna oceanów. Oziębienie kuli ziemskiej o $0,01^\circ\text{C}$ jest równoznaczne z odprowadzeniem z jej powierzchni ciepła w ilości $4,725 \times 10^{25} \text{ J}$, którego wystarczyłoby na $2,25 \times 10^4$ lat, gdyby roczne światowe zużycie ciepła ustaliło się na poziomie $2,1 \times 10^{21} \text{ J}$, co według przewidywań ma nastąpić w 2000 roku.

Przydatność energii wnętrza skorupy ziemskiej jest ograniczona. Nie może ona bowiem znaleźć zastosowania w procesach wymagających ciepła wysokotemperaturowego, jak na przykład przy wytworzeniu substytutów ropy i gazu ziemnego.

Wstępne wyniki badań wskazują na duże możliwości wykorzystania energii geotermicznej w niektórych obszarach Polski nie tylko dla ciepłownictwa ale również dla szklarnictwa, rolnictwa, hodowli ryb [1.64]. Przy obecnych technologiach wykorzystywania ciepła geotermicznego można będzie (według [1.64]) z perspektywicznych zasobów ekonomicznie uzyskać ciepło odpowiadające jedynie 3,6 mld ton ekwiwalentu ropy. Odpowiada to około 17 % udokumentowanych zasobów energii geotermicznej.

1.4.8 Energia rzek

Energię potencjalną i kinetyczną rzek wykorzystuje się do napędu turbin wodnych instalowanych w elektrowniach wodnych. Energia potencjalna, określona położeniem zbiornika wodnego względem turbiny, jest przemieniana na energię kinetyczną. Energię kinetyczną determinuje prędkość przepływu strumienia wody. Światowe potencjalne zasoby energii rzek wynoszą 2,857 mln MW. Aktualnie wykorzystuje się zaledwie 0,152 mln MW [1.32]. Należy zauważyć, że elektrownie wodne charakteryzują się niskimi kosztami eksploatacji i wysokimi kosztami inwestycyjnymi z uwagi na konieczność budowy zbiorników wodnych.

Ze względu na szybki rozruch i szybkie wchodzenie na pełną moc elektrownie wodne są szczególnie przydatne dla pokrywania szczytowego zapotrzebowania na energię.

W Polsce moc osiągalna elektrowni wodnych zawodowych wynosi 2042 MW w tym elektrownie szczytowo-pompowe mają moc 1366 MW [1.64]. Oprócz tego pracują w Polsce 102 małe elektrownie wodne o łącznej mocy 116,5 MW i w ostatnich latach powstało ponad 200 mikroelektrowni o mocy od kilku do kilkunastu kW. Realne jest w Polsce uzyskanie około 11000 MW mocy, gdyby uruchomiono cały potencjał hydroenergetyczny dla energetyki zawodowej i około 1200 MW małych elektrowni o znaczeniu lokalnym [1.64].

1.4.9 Energia pozostałości produkcji rolniczej

Rozważane pozostałości produkcji rolniczej obejmują:

- pozostałości upraw zbożowych,
- odpady zwierzęce.

Mogą one być wykorzystywane do produkcji syntetycznych paliw ciekłych lub gazowych. Dla oszacowania prawdopodobnych potencjalnych zasobów energetycznych pozostałości rolniczych w kraju, podanych poniżej, wykorzystuje się odpowiednie dane dla Kanady [1.33]. Zgodnie z tymi danymi możliwości uzyskania wartości energetycznej odpowiednich nośników energii byłyby następujące:

- pozostałości upraw zbożowych $1,2 \cdot 10^6$ GJ/r ha,
- odpady zwierzęce $1,9 \cdot 10^6$ GJ/r ha.

Potencjalne zasoby energetyczne tkwiące w pozostałościach upraw zbożowych i odpadach zwierzęcych, przyjmując powierzchnię ziemi uprawnej w kraju równą 18 mln ha, wynosiłyby 56 mln GJ/r ha. Byłoby to równoważne 2,22 mln ton węgla o wartości opałowej 25 GJ/t.

Według danych (Office of Technology Assessment, USA) zawartych w [1.34] przewiduje się, że udział pozostałości upraw zbożowych i odpadów zwierzęcych w konsumpcji energii USA w 2000 roku ma odpowiednio wynosić: 1,2 - 1,66% i 0,4 - 0,5%.

1.4.10 Energia odpadów komunalnych

Odpady komunalne tworzą głównie:

- niewykorzystane produkty żywnościowe, określane mianem utraty zbiorów,
- opakowania.

Utrata zbiorów powstaje w wyniku niewykorzystania lub zepsucia się produktów żywnościowych pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Zawiera się ona w granicach 40% w niektórych krajach rozwijających się, i do 2 - 8% w niektórych krajach uprzemysłowionych. Zmniejszanie utraty zbiorów można uzyskiwać poprzez tworzenie lepszych warunków transportu, magazynowania i pakowania. W krajach zachodnich wzrasta zastosowanie nowych technologii opakowań, włączając w to opakowania wyjałowione, które nie wymagają urządzeń chłodniczych, i opakowania próżniowe. Ulepszają się także opakowania z punktu widzenia uniknięcia uszkodzenia produktów zawartych w opakowaniu. W krajach uprzemysłowionych wzrasta zastosowanie plastyku, który zastępuje w coraz to większym

stopniu papier, tekturę, metale i szkło. Wzrasta stosowanie papieru i tektury pokrywanej plastykiem do opakowań mleka i innych napojów.

Z punktu widzenia ochrony środowiska istotne staje się przedłużanie możliwości wykorzystywania zasobów naturalnych zawartych w opakowaniach zamiast gromadzenia ich na składowiskach. Można tego dokonać odzyskując odpowiednie materiały takie jak papier, szkło, metale i wykorzystywać je jako surowce. Można także stosować jako paliwo w elektrowni lub jako surowiec w procesie pirolizy produkując paliwa ciekłe lub gazowe

Ilość odpadów przypadających na jednego mieszkańca w ciągu roku wynosi odpowiednio: w USA - 800 kg, RFN i Szwecji - 400 kg, w Wielkiej Brytanii około 300 kg. Większa ilość śmieci w USA jest powodowana większym udziałem papieru, podczas gdy w innych krajach uprzemysłowionych papier zastępuje się plastykiem. Głównymi składnikami śmieci są: papier i tektura - 42%, szkło - 9%, metale - 8%, plastik - 7% i inne materiały - 16%.

Studia przeprowadzone w RFN wykazały, że konsekwencją eliminowania plastyku w opakowaniach będzie:

- 4-krotny wzrost ciężaru śmieci,
- 2,6-krotny wzrost objętości śmieci,
- 2-krotny wzrost energii wymaganej dla produkcji materiałów do opakowań [1.35].

Według danych zawartych w [1.33] istnieje możliwość substytucji śmieci do około 4 GJ/r na mieszkańca. Odniesienie tych danych do warunków krajowych pozwala oszacować prawdopodobne zasoby energetyczne zawarte w śmieciach na około 160 mln GJ/r (40 mln mieszkańców * 4 GJ/r mk.) lub w przeliczeniu na węgiel daje to 6,4 mln ton węgla.

1.4.11 Energia pozostałości leśnych

Biomasę pozyskiwaną w trakcie wyrębu drzewostanu leśnego stanowią:

- drewno handlowe z korą - 59%,
- wierzchołki drzew - 5%,
- gałęzie i liście - 21%,
- karpina i korzenie - 15%, [1.36].

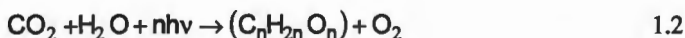
Wierzchołki drzew, gałęzie i liście, karpina i korzenie stanowią pozostałości leśne. Odzyskanie w całości tej biomasy do celów energetycznych jest nierealne. Natomiast ze względów technicznych można odzyskać około 36% pozostałości, które w stosunku do ilości drewna handlowego wynoszą 24% [1.34]. W Polsce pozyskuje się około 22 mln m³ drewna handlowego. Potencjalne zasoby pozostałości leśnych technicznie możliwe do wykorzystania mogą wynosić około 5 mln m³. Daje to 80 10⁶ GJ/r, co jest równoważne 3,33 10⁶ tonom węgla o wartości opałowej 24 GJ/t. Taką ilość węgla zużytkowuje w ciągu roku elektrownia węglowa o mocy 1000 MW.

1.4.12 Energia biomasy

Fotosynteza jest sposobem przekazywania energii pomiędzy przyrodą nieożywioną a ożywioną. Jest ona złożonym procesem wytwarzania związków organicznych z dwutlenku węgla i wody kosztem energii światła słonecznego. Fotosynteza przebiega w dwóch etapach, z których każdy składa się z wielu procesów pośrednich. Pierwszym etapem jest fotoliza (rozkład pod wpływem światła) cząsteczki wody. W drugim etapie, nie wymagającym światła, w wyniku asymilacji CO₂ powstaje aldehyd fosfoglicerynowy, który może ulegać przemianom głównie w monosacharydy, a także aminokwasy i tłuszcze kwasowe, stanowiące materiał do syntezy polisacharydów, białek i tłuszczów. Istotnym elementem w procesie fotosyntezy są *chloroplasty* (zielone ciała komórek roślinnych) występujące w zielonych, oświetlonych częściach rośliny. Ich zadaniem jest pochłanianie energii światła i jej przekształcanie w energię chemiczną, zużywaną w procesie fotolizy. Uogólniając zagadnienie można powiedzieć, że w procesie fotosyntezy ma się do czynienia z

przejmowaniem energii promieniowania słonecznego przez chloroplasty i jej gromadzeniem w postaci energii wiązań chemicznych poprzez redukcję dwutlenku węgla do molekuł węglowodanów, lipidów (tłuszczowców) i protein.

Podstawowe równanie fotosyntezy ma następującą postać:



CO_2 identyfikuje się z formą nieorganiczną, a $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$ z formą organiczną węglowodanów, n - określa ogólną sprawność procesu; ν - częstotliwość fotonu (kwantu energii pola elektromagnetycznego); h - stała Plancka ($6,62 \cdot 10^{-34}$ J s); $h\nu$ - energia fotonu.

Energia gromadzona w formie organicznej powstałej w wyniku fotosyntezy stanowi potencjalną energię zasobów biomasy. Biomase tworzą trzy podstawowe składniki:

- celuloza (włókniste węglowodany, występujące powszechnie w roślinach i tworzące podstawowy zrąb ściany komórkowej),
- hemiceluloza, która stanowi około jedną czwartą substancji roślinnej, i którą tworzą polisacharydy - cukry złożone,
- lignina, będąca polimerem (związki wielocząsteczkowe zbudowane z regularnie lub nieregularnie powtarzających się ugrupowań atomów o jednakowej budowie) i zwiększająca wytrzymałość mechaniczną i chemiczną ścian celulozowych.

Skład chemiczny biomasy tworzą: węgiel, wodór i tlen. Biomasa jest formą gromadzenia energii słonecznej, jako produkt fotosyntezy, procesu, w wyniku którego rośliny produkują węglowodany z dwutlenku węgla zawartego w atmosferze i wody w obecności promieniowania słonecznego.

Wielkość zasobów biomasy drzewnej warunkują dwa czynniki: *powierzchnia uprawna i wydajność biomasy drzewnej na hektar*. Największe możliwości zwiększenia wydajności biomasy w odniesieniu do stosowanych roślin tkwią w genetyce, która stwarza warunki do wzrostu wydajności do 40% [1.37]. Ostatnio wyhodowano gatunki drzew odpornych na choroby, które charakteryzują się szybkim wzrostem i zdolnością regeneracji z pnia po ścięciu [1.38].

W celu przyspieszenia produkcji biomasy drzewnej rozwinięto i rozwija się *krótko-okresową intensywną kulturę* (Short Rotation Intensive Culture - SRIC) upraw biomasy drzewnej. Jest to kultura upraw drzewostanu, wykorzystująca szybko wzrastające drzewa lub krzewy, rotację 3 - 10 letnich cykli wycięcia, gęsto sadzonych drzew, z nawadnianiem i nawożeniem gleby.

Głównymi przedstawicielami krótkookresowej intensywnej kultury upraw jest topola, wierzba, rzadziej brzoza lub olcha. Wydajność topoli z jednego hektara w ciągu roku osiąga 18,5 ton suchej materii [1.38]. W większości prowadzonych badań w Finlandii i Szwecji wykorzystuje się wierzbę. Stosując 1-2 letni okres zakładania plantacji, 2-3 letnią rotację wycięcia uzyskuje się 15 - 20 ton suchej materii na hektar w ciągu roku [1.39].

Prace badawczo-rozwojowe nad krótkookresową, intensywną kulturą upraw biomasy drzewnej prowadzi się w USA, Szwecji, Finlandii, Austrii, we Włoszech, w Norwegii i Szwajcarii. Główny wysiłek kieruje się na:

- zwiększenie wydajności biomasy z hektara,
- zmniejszenie kosztów wycięcia.

W południowo zachodnich stanach USA dokonano wyboru regionów odpowiednich dla upraw biomasy drzewnej. Jako za korzystne warunki klimatyczne, właściwe dla produkcji biomasy, uznano średnie opady roczne wynoszące przynajmniej 30 cm i okres 120 dni wolnych od mrozów [1.40].

W USA regionalny program wykorzystywania biomasy do celów energetycznych zapoczątkowano w 1983 roku [1.41]. Jego celem było stworzenie warunków dla zwiększenia konsumpcji energii biomasy przez sektor publiczny i prywatny w siedmiu

stanach Wielkich Jezior: Illionis, Indiana, Iowa, Michigan, Minnesota, Ohaio i Wisconsin. Według danych zawartych w [1.32] energia biomasy ma pokrywać w 2000 roku zapotrzebowanie na energię w USA w granicach 12,5 - 16,6%.

W Szwecji program badawczo-rozwojowy biomasy zapoczątkowano w 1976 roku [1.42]. Jego zadaniem było określenie do 1985 roku potencjalnych możliwości wykorzystywania upraw leśnych dla celów energetycznych. Badania podstawowe prowadzi się na eksperymentalnych poletkach w Jaedraas (Szwedzki Uniwersytet Nauk Rolniczych), posiadający urządzenia laboratoryjne [1.43]. Badania na dużą skalę realizuje się zaś w ośrodku "Storoersoek Nord" [1.44]. Natomiast projekt upraw leśnych wierzby realizuje się w farmie o powierzchni 700000 m² w pobliżu Malmoe [1.45].

Firma Imatran Voima Oy prowadzi prace eksperymentalne uprawy wierzby do celów energetycznych w Finlandii od 1983 roku [1.46]. 250 odmian sadzonek wierzby przebadano na poletku o powierzchni 2,8 ha w Kopparnas. Wyselekcjonowano najlepsze odmiany, które szybko wzrastając nawet na gorszych klasach ziemi są odporne na susze, zimno i zarazy. Odmiana ta nazwana Salix genus okazała się najkorzystniejszą w warunkach klimatu fińskiego.

Na powierzchni jednego hektara sadi się od 20000 do 40000 sadzonek wierzby. Po wykiełkowaniu na powierzchni jednego hektara może pomieścić się 60000 pni. Po założeniu plantacji wierzby rosną przez 3 lata. Po pierwszym zbiorze następują trzy kolejne zbiory, przy czym wierzba odrasta z istniejących już pni. Przyrost roczny wierzby wynosi około półtora metra. Po trzech latach wyrąbywane pole wierzby jest wysokie na około pięć metrów. Z powierzchni jednego hektara można uzyskać 15 - 20 ton suchej masy wykorzystywanej do produkcji energii. Najwyższa wydajność najlepszych odmian wierzby z jednego hektara była równoważna około 150 MWh, co równa się 540 GJ lub 21,6 tonom węgla o wartości opałowej 25 GJ/t.

Prace badawcza na szeroką skalę prowadzi się w Finlandii w "Finnish Forest Research Institute", zlokalizowanym w Kannus, Joensuu i w Helsinkach, a także na wydziale botaniki na uniwersytecie w Oulu [1.47-1.52].

Można w przybliżeniu określić hipotetyczne potencjalne zasoby energii biomasy drzewnej dla warunków polskich. Powierzchnia lasów w Polsce wynosi około 8,5 mln ha. Załóżmy, że 1,6 mln ha lasów i nieużytków rolnych przeznaczony się na intensywną krótkookresową uprawę biomasy leśnej. Przyjmijmy, że wydajność z hektara będzie wynosić 20 t/ha i 14 t/ha suchej masy drzewnej na rok. Przy tych założeniach, produkcja biomasy drzewnej byłaby równoważna 640 - 448 mln GJ/r co odpowiada 25 - 18 mln ton węgla o kaloryczności netto 25 GJ/t.

1.5 Magazynowanie energii

Wykorzystywanie energii słonecznej i wiatrów nie będzie mogło odbywać się w sposób ciągły. Jednakże technologie satelitarnych elektrowni słonecznych mogłyby stanowić wyjątek, gdyby zostały opanowane przemysłowo i spełniały określone warunki ekonomiczne. W przypadku przeważającej większości technologii źródeł odnawialnych powstanie więc konieczność magazynowania energii. Wśród technologii magazynowania energii, znanych i obecnie będących przedmiotem badań, wyróżnia się akumulatory:

1. ciepła,
2. ciepłno-chemiczne,
3. mechaniczne,
4. elektryczne.

1.5.1 Akumulatory ciepła

Magazynowanie ciepła może znaleźć zastosowanie, wtedy gdy źródłem energii lub produktem końcowym odnawialnego źródła energii jest ciepło. Występuje to w przypadku:

- suchych źródeł geotermicznych,
- słonecznych elektrowni ciepłych,
- płaskich kolektorów słonecznych,
- gorących źródeł geotermicznych.

Metody magazynowania energii dzieli się na dwie zasadnicze grupy, obejmujące akumulatory krótkookresowe lub długookresowe.

Dla celów magazynowania wykorzystuje się ciepło akumulowane w wyniku zmiany temperatury lub stanu fizycznego substancji.

Okres magazynowania identyfikuje się z przedziałem czasu pomiędzy fazą ładowania a fazą użytkowania. W przypadku energii słonecznej fazy te wynosiłyby odpowiednio 12 godzin i 6 miesięcy.

Czynnikami gromadzącymi ciepło poprzez zmianę temperatury mogą być: woda, para wodna, oleje, sole i ciekłe metale.

Stosując wodę można magazynować ciepło niskotemperaturowe. Czynnikami umożliwiającymi magazynowanie ciepła wysokotemperaturowego są: para wodna, oleje, sole ciekłe i metale ciekłe.

Jako metodę długookresowego magazynowania energii sugerowano [1.53] magazynowanie gorącej wody w podziemnych szczelinach.

Akumulatorami ciepła wykorzystującymi zmianę stanu skupienia są substancje absorbujące lub oddające ciepło przy przechodzeniu z jednej fazy do drugiej. Istnieją trzy możliwe sposoby zmiany fazy:

1. przejście pomiędzy fazą stałą i ciekłą,
2. przejście pomiędzy fazą ciekłą i gazową,
3. przejście pomiędzy fazą stałą i gazową.

Przykładem akumulatora wykorzystującego "ukryte ciepło" entalpię zmiany fazowej może być sól glauberska [1.54] (definicję entalpii podano w rozdz. 3-cim).

1.5.2 Akumulatory ciepłno-chemiczne

Zasadą działania akumulatorów ciepłno-chemicznych jest odpowiednie kojarzenie endotermicznych i egzotermicznych reakcji chemicznych. Rozróżnia się dwa rodzaje tych akumulatorów [1.54], w których wykorzystuje się:

1. odwracalne procesy chemiczne endotermiczne i egzotermiczne,
2. procesy endotermiczne i egzotermiczne stosując pompę ciepłą.

Pierwszy rodzaj akumulatorów działa w myśl zasady:

związek dwóch substancji A i B ulega rozkładowi przy wysokich temperaturach zgodnie z reakcją



gdzie Q - ciepło akumulowane.

Podczas łączenia substancji A i B przy niskich temperaturach zachodzi proces odwrotny



Istnieje wiele substancji zachodzących według powyżej wymienionych reakcji. Oto niektóre z nich





1.6

Problemem jest trudność znalezienia czynników, które by zachodziły według reakcji (1.3) (1.4) w sposób idealnie odwracalny. Niezupełna odwracalność procesów będzie zaś powodować konieczność ciągłego uzupełniania czynników.

Innym przykładem akumulatora wykorzystującego odwracalne procesy chemiczne jest system ADAM-EVA [1.55]. Dwa układy: endotermiczny EVA i egzotermiczny ADAM mogą pracować w układzie zamkniętym i otwartym. W układzie EVA metan jest wykorzystywany do produkcji gazu syntezowego według reakcji



Gaz o składzie $\text{CO} + 3 \text{H}_2$ może być transportowany na dalekie odległości do układu ADAM, który odzyskuje ciepło wysokotemperaturowe układu EVA według następującej reakcji chemicznej



Istotną zaletą układu są względy ekologiczne. Ponadto rozważany układ wykorzystuje stosowane dotychczas technologie. Układ EVA jest oparty bowiem na reformingu parowym, a ADAM wykorzystuje technologię syntezy metanu znaną jako metanizację. Ponieważ temperatura na wyjściu układu ADAM wynosi około 500°C , to ciepło transportowane na duże odległości może być wykorzystywane do wytwarzania energii elektrycznej oraz do celów grzewczych.

Drugi rodzaj akumulatorów ciepłno-chemicznych, wykorzystujących zasadę działania pompy ciepłej, obejmuje dwie reakcje. Jedna z nich zachodzi przy wysokiej temperaturze i ma postać



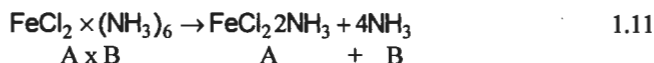
a druga przebiega przy niskiej temperaturze według zależności



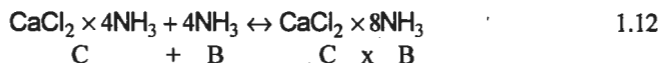
gdzie: A,B,C - reagujące substancje, Q1, Q2 - odpowiednio ciepło reakcji endotermicznej i egzotermicznej.

Dla ilustracji przedstawionej zasady rozważmy następujące reakcje [1.54]:

1. zachodzącą przy wysokiej temperaturze



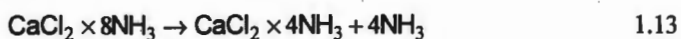
2. zachodzącą przy niskiej temperaturze



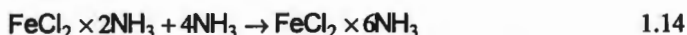
Reakcje te zachodzą w dwóch oddzielnych komorach 1 i 2 połączonych przewodem, za pomocą którego następuje wymiana NH_3 .

W okresie ładowania w komorze 1 przy temperaturze 135°C zachodzi reakcja 1.11, która absorbuje ciepło w ilości $Q_1=12,5$ kcal/mol. Następnie NH_3 przepływa do komory 2. W komorze tej, gdzie zachodzi reakcja 1.12 przy temperaturze 40°C, NH_3 jest absorbowany i przekazuje ciepło w ilości $Q_2 = 9,8$ kcal/mol. Różnica $Q_1 - Q_2 = 2,7$ kcal/mol stanowi energię akumulowaną.

Okres rozładowania jest procesem odwrotnym, w którym wykorzystuje się zasadę działania pompy ciepłej, wymagającej następujących temperatur: komora 1 - 40°C, komora 2 - -30°C. W okresie tym zachodzą reakcje:
komora 2



komora 1



gdzie $4NH_3$ przepływa z komory 2 do 1.

Ciepło w ilości $Q_1 = 9,8$ kcal/mol jest absorbowane w komorze 2 przy temperaturze -30°C, a następnie $Q_2 = 9,8 + 2,7 = 12,5$ kcal/mol jest przekazywane z powrotem do komory 1, działającej przy temperaturze 40°C.

O zaletach akumulatorów ciepłno-chemicznych stanowią możliwości:

1. gromadzenia energii w temperaturze otoczenia w nieokreślonym czasie bez potrzeby izolacji, a więc i bez strat ciepła,
2. transportu produktów reakcji.

Nadal występuje jednak problem znalezienia reakcji o możliwie wysokim stopniu odwracalności procesów.

1.5.3 Akumulatory mechaniczne

Rozróżnia się następujące rodzaje akumulatorów mechanicznych, które mogą służyć do magazynowania energii elektrycznej:

1. układy przepompowe,
2. akumulatory sprężonego powietrza,
3. akumulatory energii kinetycznej.

Układy przepompowe są znane od szeregu lat. Obejmują dwa zbiorniki wody usytuowane na dwóch różnych poziomach. W okresie nadmiaru mocy woda z niższego zbiornika jest przepompowywana do wyższego. W okresie niedoboru mocy energia potencjalna wyższego zbiornika jest przemieniana w hydroelektrowniach w energię elektryczną. Pompowanie wody do wyższego zbiornika mogą wykonywać silownie wiatrowe.

Magazynowanie sprężonego powietrza można połączyć z turbinami gazowymi. Stanie się to opłacalne dla dużych mocy rzędu 200-2000 MW [1.56]. Turbina gazowa wymaga jednak ropy jako paliwa, co będzie w przyszłości zmniejszać atrakcyjność omawianego systemu.

Magazynowanie energii kinetycznej dokonuje się wprawiając w ruch obrotowy masy o dużym momencie bezwładności. W literaturze istnieje szereg koncepcji magazynowania energii elektrycznej w wyniku wprawiania w ruch obrotowy masy [1.57,1.58].

1.5.4 Akumulatory elektryczne

Energia prądu stałego była i jest magazynowana w bateriach. Istnieją sugestie stosowania magnesów nadprzewodzących do magazynowania energii elektrycznej na dużą skalę. Ocenia się, że metoda ta może okazać się ekonomicznie opłacalna dla pojemności magazynowania rzędu 10000 MWh [1.59].

1.6 Struktura wytwarzanych nośników energii przez technologie odnawialnych źródeł energii

Przyjmijmy następującą klasyfikację technologii źródeł odnawialnych:

1. Technologie źródeł energii, które - tak jak paliwa kopalne - będą mogły zapewniać ciągłość dostawy energii i wielkość dostarczanej mocy wymaganej przez użytkownika w każdym miejscu kuli ziemskiej. Tego typu technologie źródeł energii można podzielić na:
 - 1.1 podstawowe dostępne globalnie,
 - 1.2 podstawowe dostępne lokalnie w określonych miejscach kuli ziemskiej.
2. Technologie, które mogłyby stać się podstawowymi, gdyby rozwiązano odpowiednie problemy gromadzenia wytwarzanej energii. Określimy je następująco:
 - 2.1 warunkowo podstawowe dostępne globalnie,
 - 2.2 warunkowo podstawowe dostępne lokalnie.
3. Technologie źródeł energii odnawialnych, które nie będą mogły spełnić wyżej wymienionego warunku, traktowane jako:
 - 3.3 uzupełniające dostępne globalnie,
 - 3.2 uzupełniające dostępne lokalnie.

W tablicy 1.2 zestawiono technologie źródeł odnawialnych zgodnie z zaproponowaną klasyfikacją. Wśród podstawowych globalnie dostępnych znajdują się:

- satelitarne elektrownie słoneczne,
- suche źródła geotermiczne.

Możliwość stosowania suchych źródeł geotermicznych jest obciążona dużym stopniem niepewności ze względu na ich słabe rozeznanie, koszty i wpływ na środowisko. Niepewność oceny wielkości zasobów wynika między innymi z niedostatecznej wiedzy o geologii. Mając to na uwadze, przyjmijmy, że reprezentantem źródeł podstawowych globalnie dostępnych będą satelitarne elektrownie słoneczne. Wówczas kraje nie rozwijające technologii pojazdów kosmicznych miałyby w przyszłości następujące alternatywy:

1. użytkowanie energii elektrycznej wytwarzanej przez satelitarne elektrownie słoneczne, będące w posiadaniu krajów rozwijających technologie pojazdów kosmicznych,
2. rozwijanie technologii źródeł energii podstawowych dostępnych lokalnie, ale pod warunkiem, że położenie geograficzne umożliwi wykorzystywanie tych źródeł,
3. rozwijanie technologii źródeł energii warunkowo dostępnych, a więc takie, które mogłyby stać się podstawowymi, gdyby rozwiązano odpowiednie problemy gromadzenia wytwarzanej energii.

Kluczem do korzystania z warunkowo dostępnych źródeł energii będą technologie magazynowania energii. Pozwoli to uczynić tę grupę źródeł energii źródłami podstawowymi. Przedstawicielami grupy takich technologii byłyby:

- ogniwa fotowoltaiczne globalnie dostępne,
- słoneczne elektrownie ciepłe lokalnie dostępne dla krajów o odpowiednim położeniu geograficznym.

Tablica 1.2 Zestawienie technologii odnawialnych źródeł energii

technologie źródeł dostępne	Rodzaj wytwarzanej energii		
	energia elektryczna	ciepło	węglowodory
globalnie			
podstawowe - elektrownie satelitarne	→		
podstawowe - suche źródła geotermiczne		→	
warunkowo podstawowe - ogniwa fotowoltaiczne	→		
uzupełniające - energia biomasy			→
lokalnie			
podstawowe - oceaniczne elektrownie	→		
podstawowe - pływy morskie	→		
warunkowo podstawowe - słoneczne elektrownie	→	→	
warunkowo podstawowe - energia fal morskich	→		
uzupełniające - energia wiatrów	→		
uzupełniające- kolektory płaskie		→	
uzupełniające - gorące źródła geotermiczne		→	

Produktami końcowymi byłyby:

- energia elektryczna,
- ciepło, w tym także wysokotemperaturowe, które mogłoby być wykorzystywane do produkcji wodoru.

Pozostałaby jeszcze możliwość wykorzystywania źródeł uzupełniających. Poniżej zestawia się je z punktu widzenia rodzaju wytwarzanego nośnika energii, i tak:

energia elektryczną można by uzyskiwać stosując *siłownie wiatrowe*,

ciepło niskotemperaturowe mogłyby wytwarzać *kolektory płaskie*,

węglowodory można by otrzymywać po odpowiednim przetworzeniu *biomasy*.

Znaczną produkcję węglowodorów można by uzyskiwać wykorzystując zasoby biomasy wytwarzane na plantacjach. Aby to zrealizować wymagana byłaby osiągalność:

- odpowiedniej powierzchni upraw,
- wody.

Reasumując należy stwierdzić, że w wyniku stosowania wyłącznie odnawialnych źródeł energii, strukturę podstawowych nośników energii tworzyłyby:

- energia elektryczna,
- ciepło.

Natomiast głównym problemem w wykorzystywaniu wyłącznie odnawialnych źródeł energii byłaby niedostateczna podaż węglowodorów, szczególnie jako surowców w przemyśle, w tym w chemii organicznej.

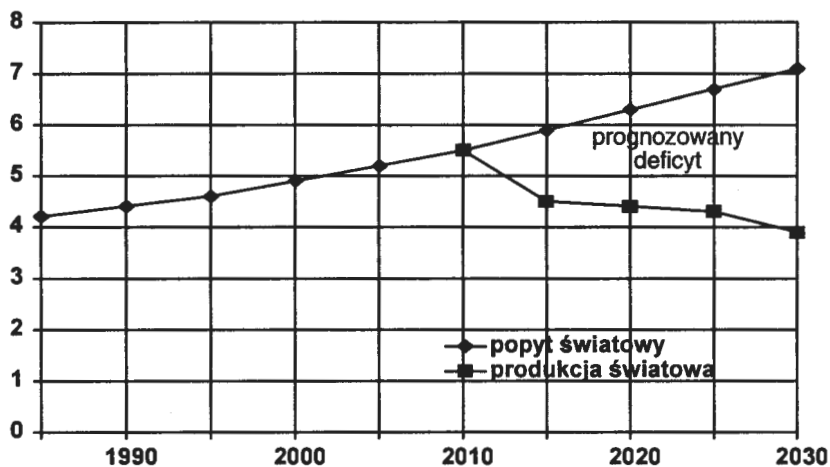
1.7 Uwagi końcowe

W rozdziale określono potencjalne zasoby rozważanych źródeł energii. Istnieje szereg spekulacji publikowanych w literaturze, dotyczących prognozowania scenariuszy struktury użytkowanych źródeł energii lub jej nośników. Niektóre z nich, w tym także uwagi autora, przytacza się poniżej.

W obecnej strukturze paliw i energii użytkowanej w skali światowej dominują paliwa kopalne. Węgiel uczestniczy głównie w produkcji energii elektrycznej, stali i w gospodarce komunalno-bytowej. Prawdopodobnie zachowa on swoją pozycję w ciągu najbliższych czterech dziesięcioleci w produkcji energii elektrycznej, szczególnie w rozwijających się krajach Azji, a także w hutnictwie stali. Węgiel w gospodarce komunalno-bytowej może być zastępowany w najbliższym dziesięcioleciu przez gaz, a następnie częściowo przez źródła odnawialne. Według prognoz Instytutu Energii Jądrowej w Julich, RFN, około 2020 roku powstanie niedobór ropy na rynku światowym (rys.1.6 [1.1]).

Podstawowymi produktami ropy są lekkie, średnie i ciężkie destylaty. Pierwsze są używane przez transport, drugie przez gospodarkę komunalną, a trzecie przez elektrociepłownię.

TWrok/rok



Rys.1.6 Popyt światowy i produkcja światowa ropy w TWrak/rok.

Ciężkie destylaty mogą być zastąpione w przyszłości przez węgiel lub energię jądrową, ale pod warunkiem, że będzie ona akceptowalna przez społeczeństwo. Lekkie i średnie destylaty będą wymagać substytutów, którymi mogą być syntetyczne paliwa ciekłe lub wodór. Za około 50 lat gaz naturalny będzie również wymagał zastąpienia go innymi paliwami. Potencjalnymi substytutami gazu mogą okazać się produkty zgazowywania węgla, biomasy drzewnej lub wodór produkowany przy udziale energii słonecznej. W dalszej przyszłości na rynku energii może dominować energia słoneczna i radioaktywnie "czysta" energia syntezy. Substytuty paliw węglowodorowych można by wytwarzać sięgając po węgiel zawarty w dwutlenku węgla w atmosferze. Można by to realizować poprzez rozkład radiolityczny CO₂, wykorzystując neutrony o bardzo wysokich energiach. Będzie o tym mowa w dalszym rozdziale.

węgiel	$41 \cdot 10^4$ EJ	$E = 10^{18}$
ropa	$1,04 \cdot 10^4$ EJ	
gaz	$0,5 - 1,24 \cdot 10^4$ EJ	
uran	$10^{12} \cdot 10^4$ EJ	
deuter	$4 \cdot 10^9 \cdot 10^4$ EJ	
lit	$4 \cdot 10^6 \cdot 10^4$ EJ	
przewidywane roczne zużycie energii w skali świata w 2030 roku	0,63 EJ	

Rys. 1.7 Zasoby źródeł nieodnawialnych i przewidywane roczne zużycie energii w skali świata dla 2030 roku

energia słoneczna	$1,73 \cdot 10^5$ TW	$T = 10^{12}$
energia wiatrów	1 TW	
energia fal morskich	2,5 TW	
energia pływów morskich	1,7 TW	
energia rzek	2,8 TW	
przewidywana moc elektrowni instalowanych w latach 1990-2010 w skali świata wyłączając kraje byłego RWPG	1 TW	

Rys. 1.8 Moc zasobów źródeł odnawialnych i przewidywana moc elektrowni instalowanych w latach 1990 - 2010 wyłączając kraje byłego RWPG.

Według Hafelego [1.1] w przyszłości rynek energii będą kształtować następujące sprzeczności:

- obfitość węgla, która będzie zagrażać środowisku,
- surowe wymagania w zakresie ochrony środowiska, które będą zmuszać do sięgania po energię jądrową rozszczepienia, energię słoneczną lub energię jądrową syntezy.

W perspektywie około 100 lat strukturę użytkowanej energii będą kształtować następujące jej źródła (w przeliczeniu na węgiel o wartości opałowej 25 GJ/t):

- węgiel - 5 do $6 \cdot 10^9$ ton/rok,
- źródła energii wolne od węgla, takie jak: energia jądrowa rozszczepienia, syntezy, energia słoneczna w zakresie $10 \cdot 10^9$ ton/rok,
- odnawialne źródła energii w zakresie $1,2 \cdot 10^9$ ton/rok, takie jak: energia rzek,

energia wiatrów i biomasy.

Według Okorokowa [1.60]:

1. węgiel w postaci przetworzonej do paliw ciekłych i gazowych będzie szeroko stosowany w najbliższej przyszłości,
2. energia jądrowa rozszczepienia może być wykorzystywana w najbliższej przyszłości pod warunkiem akceptacji jej przez społeczeństwo,
3. energia jądrowa syntezy począwszy od połowy następnego stulecia będzie mogła stanowić przez stulecia nieograniczone źródło energii,
4. energia słoneczna w drugiej połowie następnego stulecia może okazać się jedynym wykorzystywanym źródłem energii.

O strukturze rynku energii w przyszłości będzie decydować szereg czynników. Jednym z nich będzie z pewnością konieczność ochrony środowiska naturalnego. Temu zagadnieniu poświęca się następny rozdział niniejszej monografii.

Literatura

- 1.1 Hafele W., Konferencja energetyczna "Global and Regional Energy Prospects", IIASA, Laxenburg, Austria, 14-16.11.1988.
- 1.2 Nakicenovic N. Long-term strategies for mitigating global warming, *Energy*, Vol.18, No5, 1993.
- 1.3 Rogner H.H. Schidt-Bleek F., Energy studies at IIASA: Results achived and future prospects, Konferencja energetyczna "Global and Regional Energy Prospects", IIASA, Laxenburg, Austria, 14-16.11.1988.
- 1.4 Materiały dziesiątej światowej konferencji energetycznej, Istambuł, Turcja, 1977.
- 1.5 Ogulewicz B., Analiza zapotrzebowania paliw i energii dla założonego rozwoju gospodarki narodowej do 1990 r., Warszawa, listopad 1977.
- 1.6 Komitet Energetyki PAN, Podstawowe Problemy Energetyki, materiały sympozjum, Jabłonna, 19-20, 06, 1970.
- 1.7 Mooradin A.I. Report AECH-4845, 1974.
- 1.8 Dietrick G., Eickhoff H.G., Niehaus F., Niesson H.F., *Nuclear Engineering and Design* 34, 1975.
- 1.9 Ekholm R., Novel nuclear energy options and directions, *Atomkernenergie*, Vol.43, No.3, 1983.
- 1.10 Energy technology data handbook, Vol.1 IEA Energy Systems Analysis Project, 1980.
- 1.11 Summary Report on Technology Characterizations IEA, Energy Technology Systems Analysis Project, 1982.
- 1.12 Bourges B., Lasnier F., Statistical distribution of solar radiation, EUR-10203-EN, 1985.

- 1.13 Michalsky J.J., Spectral distribution and variation of solar radiation, materiały konferencji CONF-860665, Kobe, Japonia, 9.06.1986.
- 1.14 Page J.K., Statistics of horizontal and inclined surface irradiation in the U.K., ETSU-S-1120, 1980.
- 1.15 Olseth J.A., Skartveit A., Solar radiation data handbook for Norway, materiały konferencji CONF-860641, Kopenhaga, Dania, 10.06.1986.
- 1.16 Koch H.R., Reduced meteorological data for the computation of the energy produced by solar collectors, EUR-9484-EN, 1984.
- 1.17 Brunstroem C., and others, Climate limitations and collector performance in the middle of Sweden, materiały konferencji CONF-860641, Kopenhaga, Dania, 1986.
- 1.18 Wensierski P.W., SOLARYS - an interactive model for solar systems simulation, Juel-Spez-346, Julich, RFN, 1986.
- 1.19 Peterson R.E., Smalley D.J., Cloud shading direct solar radiation model for the Crosbyton Solar Power Project, DOE/AL/21557-T2, USA, 1985.
- 1.20 Royal G.C., PRESTO: a simplified program for roof-mounted photovoltaic array layout user guide and design document, SAND-86-7029, USA, 1986.
- 1.21 Boyson W., Miler S., Photovoltaic systems evaluation: On site Data Acquisition System (ODAS) software reference manual, SAND-85-7008, USA, 1986.
- 1.22 Gueymard C., A study of the hourly distribution of the monthly-average ambient temperature and sky temperature in Canada, SESC-8806, Kanada, 1988.
- 1.23 McArthur L. B., and others, Observing and modeling sky radiance and potential applications to daylighting design, SESC-8806, Kanada, 1988.
- 1.24 Gustavson M.R. "Limits to wind power utilization", Science 204, 1979.
- 1.25 "An Assessment of Solar Energy as a National Energy Resource", National Sciences Foundation, Washington 1972.
- 1.26 Selzer H. Results of the assessment study of the technical economic prospects for wind energy in the European Countries, EUR-9622, str. 18-22, 1985.
- 1.27 IEA large scale wind energy, Annual report, STEV-1988-R3, Szwecja, 1987.
- 1.28 The Times, November 11 1987.
- 1.29 Wind Energy Research and Technological Development in Denmark, published by the Danish Ministry of Energy, 1986.
- 1.30 Holte O., i inni, Norwegian Wind Energy Programme 1979-1983, Final report, IFE/KR/E-84/006-N, 1984.
- 1.31 Shepard M.L., Introduction to energy technology, Ann Arbor Science, 1976.

- 1.32 King Hubert M., Resources and Man, National Academy of Science - National Research Council, Freeman W.H. i inni, San Francisco, 1969.
- 1.33 Robinson J.R., An embarrassment of riches: Canada's energy supply resources, Energy, Vol 12, No5. 1987.
- 1.34 Energy from biological processes, Vol.I, OTA-E-124, USA, 1980.
- 1.35 Wolpert V.M. Hunters, Holly Hill, Colemans Hatch, East Sussex TN7 4EP, U.K. prywatna korespondencja, 1989.
- 1.36 Hakkila P. Uusvaara O., Department of Forest Technology at the Finnish Forest Research Institute, Metsantutkimuslaitoksen Tiedonantoja 175, Helsinki 1985.
- 1.37 Perlack R.D., Short rotation intensive culture for production of energy feedstocks in the US; a review of experimental results remaining obstacles to commercialization, Biomass, No2, str. 145-159, 1986.
- 1.38 Krantz B., Woodfuel independence, materiały konferencji CONF-830622, Minneapolis, USA, 1.6.1983.
- 1.39 Pohjonen V., Short rotation forestry, materiały konferencji CONF-8311266, Wiedeń, Austria, 14.11.1983.
- 1.40 Salk M.S. Folger A.G., Potential for growing terrestrial energy crops in the Southwest United States, materiały konferencji CONF-860405-2, Washington, 07.04.1986.
- 1.41 Great lakes regional biomass energy program, DOE/OR/21390-10, USA. 1986.
- 1.42 Energy forestry, results, conclusions and proposals from the Swedish energy forest research program, STEV-1985-9, Szwecja, 1985.
- 1.43 Lindroth A., Forest research sites and research equipment at Jaedraaas, SLU-IEM, Szwecja, 1982.
- 1.44 Andersson G., Large scale trial Storfoersoek Nord, cultivation of energy forests in the north of Sweden, STEV-EO-86-6, Szwecja, 1986.
- 1.45 Perman G., Large scale energy forest cultivation in the South of Sweden, STEV-EO-85-2, Szwecja, 1985.
- 1.46 Energy Innovation, Imatran Voima's Research and Development Report, Finlandia, 1991.
- 1.47 Ferm A., Kauppi A., Coppicing as a means for increasing hardwood biomass production, Finnish Forest Research Institute, Kannus, University of Oulu, Finland, Biomass 22 107-121, 1990.
- 1.48 Hytonen J., Effect of cutting season, stump height and harvest damage on coppicing and biomass production of willow and birch, Finnish Forest Research Institute, IEA Bioenergy Agreement Joint Workshop, Vermont, USA, 3. 09.1993.

- 1.49 Nurmi J., Measurement and evaluation of wood fuel, Finnish Forest Research Institute, Finland, Biomass and Energy, Vol.2, No1-6, 157-171, 1992.
- 1.50 Sennerby-Forsse L., Ferm A., Kauppi A., Coppicing ability and sustainability, in: Ecophysiology of short rotation forest crops (Mitchell C.P., Ford-Robertson J.B., Hincley T., Sennerby-Forsse L. eds), 146-184, 1992.,
- 1.51 Nurmi J., Heating values of the above ground biomass of small-sized trees, *Acta Forestlia Fennica* 236, Finnish Forest Research Institute, Helsinki, 1993.
- 1.52 Hakkila P., Uusvaara O., Metsateknologian Tutkimusosasto, Department of Forest Technology at Finnish Forest Research Institute, Helsinki, 1985.
- 1.53 Office of Technology Assessment "Application of Solar Technology to Today's Needs", Washington, 1978.
- 1.54 Mancini N.A., Viglianisi M., Thermal storage systems and analytical models, materiały symp. Non-conventional energy source, Miramare-Triest, Włochy, 1983.
- 1.55 Materiały symposium "The high temperature reactor and process applications" BNES, Londyn, 26-28.12.11.1974.
- 1.56 An Assessment of Energy Storage Systems Suitable for Use by Electric Utilities, EPRI EM-264, ERDA E (11-1)-2051, 1976.
- 1.57 Economic and Technical Feasibility Study for Energy Storage Flywheels, ERDA 76-85, UC-948, 1975.
- 1.58 Proposal to New York State Energy Research and Development Authority for Flywheel Electric Energy Storage System, Applied Physics Laboratory, 1975.
- 1.59 Kalhammer F.R., Schneider T.R., Energy Storage, Annual Review of Energy, 1, 1976.
- 1.60 Okorokov V., Energy Roads: where to Go Today and in the Future, IIASA, Laxenburg, Austria, 14-16.11.1988.
- 1.61 Nitsch J., Klais H., Solar Hydrogen - Its Importance and Limits, Materiały Konferencji "Contributions to Hydrogen Energy Technology on the Occasion of the ISES Solar World Congress 1987, 13 - 18.09.1987 Hamburg.
- 1.62 Marecki J., Kierunki rozwoju energetyki i wykorzystania energii, referaty na Sesji Zgromadzenia Ogólnego Polskiej Akademii Nauk, Warszawa, 1994.
- 1.63 Ekspertyza: Konwersja termiczna energii promieniowania słonecznego w warunkach krajowych, Komitet Termodynamiki i Spalania, Wydział IV Nauk Technicznych PAN, Warszawa 1993.
- 1.64 Ney R., Energia odnawialna, referaty na Sesji Zgromadzenia Ogólnego Polskiej Akademii Nauk, Warszawa, 1994.

IBS

43297

ISBN 83-85847-06-5

**W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy
prosimy o kontakt z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa
tel. 36-19-01 w. 241 e-mail: kotuszew@ibspan.waw.pl**